

## HACIA UN MODELO DE AGLOMERACIÓN Y DESAGLOMERACIÓN DEL ESPACIO REGIONAL URBANO, KRUGMAN REVISITADO

## TOWARDS A MODEL OF AGGLOMERATION AND DISAGGLOMERATION OF THE URBAN REGIONAL SPACE, KRUGMAN REVISITED

**Roca Cladera, Josep y Marmolejo, Carlos<sup>ii</sup>**

Centro de Política del Suelo y Valoraciones, Universidad Politécnica de Cataluña.

Barcelona, España

**Palabras Clave:** modelos de interacción espacial, crecimiento urbano, descentralización de actividad económica.

**Palabras Clave:** spatial interaction models, urban growth, decentralisation of economic activity.

**Resumen:** El objeto del presente trabajo<sup>1</sup> se dirige a indagar acerca de los efectos en el espacio regional-urbano de las economías de aglomeración y desaglomeración que han conducido, primero, a la emergencia a lo largo del siglo XIX y primera mitad del XX de las metrópolis de urbanización concentrada, así como, después, ya avanzado el siglo XX, a lo que ha venido a denominarse “contraurbanización”, “desurbanización” o “ciudad difusa”. A tal fin se pone en discusión el modelo autoorganizativo propuesto por Krugman (1996) para la explicación del fenómeno de las “edge cities” así como se dibuja un ensayo complementario con la intención de explicar el doble fenómeno concentrador-dispersor que actualmente caracteriza las áreas metropolitanas del mundo desarrollado. El trabajo concluye con un ejercicio de aplicación empírica del modelo desarrollado a una realidad concreta: el territorio metropolitano de Barcelona.

**Summary:** The object of this paper is directed towards investigating the effects of the economies of agglomeration and disagglomeration in the regional-urban space that led firstly to the emergence, throughout the 19<sup>th</sup> Century and first half of the 20<sup>th</sup> Century, of the metropolises of concentrated urbanisation, as well as later, in more advanced stages of the 20<sup>th</sup> Century, to what has come to be called “contraurbanisation”, “desurbanisation” or the “diffuse city”. With this end in mind, the self-organizing model proposed by Krugman (1996) is discussed, in order to explain the phenomenon of the “edge cities”, as well as setting out a complementary essay, with the intention of explaining the two-fold phenomenon concentration-dispersion that currently characterises the metropolitan areas of the developed world. The paper concludes with an empirical exercise through the application of the model developed to the specific concrete reality of the metropolitan territory of Barcelona.

### 1. Introducción.

Es hoy en día un hecho comúnmente aceptado el reconocimiento de las limitaciones de la economía locacional en la forma que von Thünen introdujo y la aportación de Alonso, y en general el modelo estándar de “trade-off”, desarrolló. Dicha aproximación no explica la

---

<sup>1</sup> Los autores quieren agradecer la ayuda recibida por los profesores Jaume Roset, físico (Universidad Politécnica de Cataluña), y Carlos Marmolejo Vega, matemático.

emergencia de las economías de aglomeración ni la distribución diferencial de las externalidades a lo largo del territorio regional.

Por su parte la economía regional, tal como nos la han dejado las aportaciones de Christaller y Lösch, tampoco ha permitido avanzar excesivamente en el terreno de interpretar las razones profundas que explican la emergencia y estructura de las metrópolis contemporáneas, así como la forma progresivamente descentralizada y dispersa hacia la que éstas parecen derivar. Se trata, más bien, de modelos descriptivos que explicaciones de carácter deductivo de la estructura espacial de las regiones urbanas.

Los modelos citados, provenientes de las disciplinas hermanas de la economía locacional y regional, tienen en común un contenido acusadamente *estático*. Permiten analizar la estructura interna de las formaciones urbanas así como de los territorios regionales en que éstas se insertan, pero se muestran incapaces de explicar la evolución pasada y futura de las mismas. Denotan profundos déficits para abordar una interpretación comprensiva de carácter *dinámico* de la emergencia y desarrollo ulterior de las economías de aglomeración y desaglomeración de carácter urbano.

Tampoco los trabajos continuadores de la tradición iniciada por los pioneros antes mencionados parecen haber permitido dar el paso decisivo de pasar de una teoría locacional de carácter estático a otra de naturaleza dinámica, en la que la dimensión temporal ocupe un papel relevante.

Es cierto que, desde mediados de los años 70, se ha producido una abundante literatura dirigida a caracterizar la evolución actual de las metrópolis contemporáneas. Aportaciones como las de Berry (1976), Hall & Hay (1980), van der Berg et al. (1982), Indovina (1991), Garreau (1991), Dematteis (1991), Duandy et al. (2000), etc., han dado fe de la acusada tendencia hacia la generalización del proceso urbanizador en la totalidad del territorio; proceso que ha conducido a la progresiva disolución de las oposiciones existentes entre campo y ciudad, entre las áreas metropolitanas y el resto de las zonas no metropolitanas así como entre el centro y la periferia de las formaciones urbanas contemporáneas. Sin embargo dicha literatura se ha centrado más en la descripción de carácter empírico que en la explicación y deducción teórica de los nuevos fenómenos de localización espacial.

## Los modelos de interacción espacial

En paralelo a la tradición anterior se ha desarrollado una amplia literatura teórica dirigida a introducir elementos modelizadores de la estructura y dinámica espacial. En esta familia se encuentran los llamados modelos de “interacción urbana” basados en principios gravitatorios. Dicha tradición, inaugurada formalmente por la ‘ley de la atracción comercial’ de Reilly (1929, 1931), ha tenido una evolución importante.

En primer lugar, su transformación desde un modelo marcadamente determinista a uno de tipo más probabilístico como consecuencia de las aportaciones de Stouffer (1940), Huff (1965), y Lakshmanan y Hansen (1965) entre otros. Y en segundo lugar, la introducción del método de maximización de entropía de Wilson (1967, 1970); concepto adoptado desde la teoría de la información para encontrar el patrón más probable de interacción de una matriz de flujos origen-destino.

De esta manera hacia principios de los setenta el modelo clásico de interacción espacial había adoptado la forma:

$$T_{ij} = A_i B_j O_i D_j e^{-\beta d_{ij}} \quad (1)$$

$$A_i = \left( \sum_j B_j D_j e^{-\beta d_{ij}} \right)^{-1} \quad (2)$$

$$B_j = \left( \sum_i A_i O_i e^{-\beta d_{ij}} \right)^{-1} \quad (3)$$

En (1)  $A_i$  y  $B_j$  aseguran que:

$$\sum_j T_{ij} = O_i \quad (4)$$

$$\sum_i T_{ij} = D_j \quad (5)$$

En donde:

$T_{ij}$  es la interacción desde  $i$  hacia  $j$

$O_i$  es el flujo que sale del origen en  $i$

$D_j$  es el flujo atraído al destino  $j$

$\beta$  es un parámetro de ajuste que afecta a la fricción de superar el espacio existente entre  $i$  y  $j$

$d_{ij}$  es la distancia entre  $i$  y  $j$ .

A mediados de los setenta las aproximaciones modélicas sufrieron un fuerte embate crítico, dadas sus limitaciones e inflexibilidades (Sayer, 1976). Principalmente por las carencias impuestas por su carácter estático: eran capaces de describir y reproducir la realidad más que de predecir la evolución del sistema a partir de la interacción de sus propios parámetros<sup>2</sup>. Fueron Harris y Wilson (1978) quienes propusieron el primer modelo desarrollable en un marco dinámico aplicado al caso comercial, y con ello inauguraron la familia de los modelos dinámicos.

Las aportaciones posteriores en el campo de los modelos dinámicos de interacción urbana han ayudado a expandir los argumentos teóricos y operativos del planteamiento original, no obstante lo cual la mayor parte de las veces han quedado limitadas a formulaciones abstractas, de tipo matemático, sin intentar abordar, de forma realista, la comprensión y análisis de los nuevos procesos urbanos. El modelo, originalmente aplicado en el campo comercial, ha sido trasladado a aplicaciones de localización industrial, agrícola y residencial. Sin embargo se ha producido una muy débil contrastación empírica<sup>3</sup>. La dificultad de obtener

<sup>2</sup> Por supuesto que un modelo de interacción de tipo gravitatorio basado en una matriz *temporal* de flujos OD tiene un componente intrínsecamente dinámico: el destino D representa el estado previsto para un horizonte temporal  $t+1$  y la aplicación iterativa del modelo nos otorga pronósticos de la evolución futura del sistema. Sin embargo, aún interpretados de esta manera, los modelos clásicos de interacción suelen carecer de un algoritmo dinámico de carácter explícito.

<sup>3</sup> Con todo no han faltado esfuerzos para trasladarlo a casos reales. Uno de los primeros fue el realizado por Lombardo y Rabino (1984), quienes utilizando datos del área de la comuna de Roma de 1971 a 1981, demostraron la validez del modelo en la explicación de los procesos de descentralización de la residencia y del comercio; como una consecuencia de la variación en las economías de escala (aglomeración) y la movilidad. También es de destacar, entre otras, la aportación de Clarke *et al.* (1998), los cuales han aplicado el principio dinámico para explicar los cambios estructurales en el sector comercial desde el comercio de barrio hasta los hipermercados en Leeds, Reino Unido; para evaluar la provisión de servicios escolares desde la perspectiva del mercado en la misma ciudad; y la estabilidad de algunas sucursales bancarias en Toronto, Canadá.

series históricas de datos ha sido señalada como una de las razones principales (Clarke y Wilson, 1983), pero, más en el fondo, se ha ido levantando con el tiempo un amplio foso de separación entre el modelado teórico y la explicación de los fenómenos reales que conducen la evolución actual de nuestras ciudades. Parece como si la modelización matemática de los comportamientos espaciales tuviese un interés en sí misma y no la explicación y deducción de los fenómenos físicos reales. En particular los actuales fenómenos de desaglomeración y difusión del hecho urbanizador restan, parcialmente, inexplicados.

El paso de la “estática” a la “dinámica” continúa siendo en la actualidad uno de los grandes retos pendientes en el campo de la teoría de la localización. Más particularmente continúa evidenciándose la necesidad de construir modelos que permitan entender la evolución dinámica de nuestras ciudades, y muy especialmente la evolución temporal de la distribución espacial de las externalidades que configuran las metrópolis contemporáneas. Modelos que permitan avanzar en la comprensión de cómo evolucionan nuestras ciudades, de por qué se produjo el fenómeno concentrador vinculado a la emergencia de la ciudad industrial, al auge y caída de los CBD, así como los fenómenos de periurbanización y contraurbanización de finales del siglo XX.

Modelos, en suma, que permitan anticipar la posible evolución futura de las metrópolis. En este campo creemos interesante la reflexión de Krugman (1996), así como la aplicación empírica del modelo original y sus derivados en el análisis de casos concretos.

## 2. El modelo de las “edge cities” de Krugman.

La literatura continuadora del modelo de Harris y Wilson (1978) se ha centrado básicamente en la función de atracción que ejercen las entidades sobre su entorno y en la función de disuasión que implica la distancia. Cuando aplicamos dichos mecanismos a los modelos de uso del suelo, tipo-Lowry obtenemos, necesariamente, aglomeraciones, aunque la pérdida de economías de escala y la debilitación de la fricción espacial puedan conducir alternativamente a esquemas descentralizados como lo han demostrado Lombardo y Rabino (1984)<sup>4</sup>. Sin embargo, para poder aproximarnos a una simulación del comportamiento contemporáneo de las metrópolis, caracterizado por procesos de descentralización-concentración, es necesario introducir de manera explícita fuerzas de repulsión, o diseconomías de aglomeración. Las cuales surgen, principalmente, por la apetencia de acceder simultáneamente a recursos escasos por naturaleza: suelo, servicios, infraestructuras, y en general aquellos entornos ricos en externalidades positivas. Paradójicamente, dichas fuerzas centrífugas son simultáneas a las centrípetas y la tensión que existe entre ellas acaba condicionando la distribución espacial de los individuos intervinientes (p.e. empresas).

En esta línea de pensamiento Paul Krugman (1996) ha propuesto un modelo de interacción espacial, que denomina de “edge cities”, que al conjugar el influjo de las fuerzas centrípetas y centrífugas sobre la decisión interdependiente de emplazamiento de las empresas, termina *con el paso del tiempo* configurando una estructura policéntrica a partir de una distribución original imperfectamente dispersa<sup>5</sup>.

<sup>4</sup> Un modelo de tipo gravitatorio en el que sólo existan fuerzas de atracción puede devolver, si se aplica a una matriz OD de tipo temporal (por ejemplo una matriz de migraciones intermunicipales de carácter residencial), un proceso de descentralización. Todo depende del grado de dilución de las fuerzas de atracción, parámetro  $\beta$  en (1). Sin embargo los modelos de interacción clásicos no reconocen de manera explícita la existencia de fuerzas desaglomeradoras, lo que sin duda representa una de sus debilidades.

<sup>5</sup> Krugman, sin embargo, no aplica su modelo a una ciudad de tipo “real”, fuertemente concentrada en su origen; con un centro y una periferia acusados. Permanece, por tanto, inexplicado el proceso histórico de emergencia de las “edge cities”, las cuales han derivado de un estado “original” caracterizado por una acusada desigualdad en la distribución de externalidades.

El modelo de las “edge cities” parte de un área metropolitana unidimensional, que puede ser representada bien por una circunferencia, bien una recta infinita. En el caso de la ciudad finita, de carácter circular, la línea es dividida de manera discreta en  $n$  entidades o localizaciones,  $x$ , separadas una de la otra a una distancia  $2\pi/n$ , la densidad de empresas en cada localización está representada por  $\lambda(x)$ .

El atractivo de cada localización depende positiva y negativamente de la distribución y densidad de las empresas que se da en las otras localizaciones.  $A$  representa la magnitud de las fuerzas de atracción y  $B$  la de las fuerzas antagónicas. La dilución de las fuerzas de atracción,  $r_1$ , es distinta a la dilución de las fuerzas de repulsión  $r_2$ , siendo ambas consideradas una función exponencial negativa de la distancia que separa a los localizadores. El potencial de mercado de cada emplazamiento está determinado por:

$$P(x) = \int_z (Ae^{-r_1 d_{xz}} - Be^{-r_2 d_{xz}}) \lambda(z) dz \quad (6)$$

El mecanismo dinámico establece que las empresas se van trasladando gradualmente desde los emplazamientos menos convenientes a los más atractivos; la frontera que los separa es el ‘atractivo medio’ de  $P(x)$ . Krugman define el potencial de mercado medio como:

$$\bar{P} = \int_x P(x) \lambda(x) dx \quad (7)$$

Mientras que

$$\frac{d\lambda(x)}{dt} = \gamma [P(x) - \bar{P}] \lambda(x) \quad (8)$$

representa la regla dinámica del sistema, a la vez que garantiza que el número total de empresas en el sistema se mantenga constante y evita que en ningún momento la densidad de empresas en cada  $x$  decaiga por debajo de cero, garantizando que en todo momento  $\lambda(x) \geq 0$ . Cuando el alcance de las fuerzas de aglomeración es menor al de las fuerzas de repulsión,  $r_1 > r_2$ , emergen centros múltiples. Lo mismo ocurre si  $B$  es lo suficientemente grande con respecto a  $A$ . De esta manera aplicando el modelo a la ciudad circular y finita los resultados son aglomeraciones equipotenciales y equidistantes, cuyo número dependerá de los parámetros utilizados y de la localización de las ondulaciones regulares implícitas en las irregularidades de la distribución original de las empresas. La frecuencia con la que ocurren tales ondas regulares determina la tasa de crecimiento de cada localización, y en consecuencia la emergencia de las *edge cities*.

### 3. Hacia un modelo de aglomeración/desaglomeración de tipo gravitatorio.

En desarrollo del modelo propuesto por Krugman nuestra sugerencia es emplear un algoritmo plenamente gravitatorio<sup>6</sup>. Existe un vínculo intuitivo entre los

<sup>6</sup> A pesar de que los resultados son muy parecidos no parece existir una identidad absoluta entre el algoritmo gravitatorio clásico y el derivado de la aplicación del término  $EXP(-r_1 d_{ij})$ . En Física la literatura especializada tiende a entender que el término  $1/d$  (gravitatorio clásico) tiene un efecto “infinito”, mientras que  $EXP(-d)$  representa una interacción a corta distancia. Nosotros hemos preferido, por motivos fundamentalmente estéticos, recuperar la forma original del algoritmo gravitatorio. Asimismo el modelo se construye con las “masas” y no con la “densidad” a fin de reforzar el símil gravitatorio al que se pretende acudir. Obviamente “masa” y “densidad” son conceptos equivalentes si la dimensión de cada lugar es uniforme. Asumimos, por tanto, que cada sitio tiene una superficie igual a 1. Finalmente, y como se verá más adelante, el modelo propuesto abandona la circularidad abstracta propuesta por Krugman y la sustituye por una ciudad lineal rectilínea, más acorde a la realidad física.

conceptos de economías de aglomeración y atracción gravitatoria. Desde este punto de vista, las empresas (o, más en general, los “individuos”) desearían situarse cerca del resto de empresas (o individuos) a fin de beneficiarse de los “spillovers” positivos de tal tipo de relación. De esta forma cada lugar en el espacio atraería al conjunto de individuos localizados en otros lugares en función a un *atractivo* (o “campo gravitatorio”) directamente proporcional a la cuantía del producto de sus “masas” (el número de empleos localizados espacialmente, o la “población”) e inversamente proporcional a la distancia.

$$AT_i = \int_j A \cdot M_i^{k1} \cdot M_j^{k2} / d_{ij}^{r1} \quad (9)$$

Siendo  $A$  un parámetro que cuantifica la intensidad del atractivo gravitatorio,  $M$  la población (los lugares de trabajo locales en nuestro caso) de la localidad atraída ( $i$ ) y atractora ( $j$ ),  $k1$  y  $k2$  constantes de ajuste del modelo<sup>7</sup>,  $d$  la distancia entre las dos localidades y  $r1$  el grado en que la atracción se diluye con la distancia.

Hasta aquí las economías de aglomeración. Menos evidente es el símil gravitatorio (o más precisamente “antigravitatorio”) para introducir las economías de desaglomeración. Nada de todo esto parece producirse en la realidad física<sup>8</sup>. Dicha introducción, sin embargo, viene obligada no sólo por el fenómeno manifiesto de las deseconomías resultantes de la congestión, una vez alcanzada una masa o densidad crítica, sino también por la mejora de la accesibilidad del conjunto del territorio. La valoración creciente, en la escala temporal, de las bajas densidades (el “consumo de suelo” en la aproximación de Alonso) se produce, en el contexto de una democratización progresiva de la accesibilidad, hecho que no sólo iguala potencialmente al conjunto del territorio (lo que podría representar la progresiva evolución de  $r1$  hasta acercarse a 0), sino que, a su vez, implica el creciente atractivo del espacio “vacío” en cuanto portador de nuevos valores, o externalidades, vinculados a la apetencia de bajas densidades. Sólo así pueden explicarse los fenómenos asociados a la periurbanización, contraurbanización o emergencia de las “edge cities”.

Nos vemos obligados, en consecuencia a todo lo anterior, a introducir junto a las *fuerzas centrípetas*, gravitatorias, otras de componente opuesta. *Fuerzas centrífugas*, o antigravitatorias, que por motivos de simplicidad (y de estética) consideramos, como Krugman, de estructura o naturaleza idéntica (aunque de signo contrario). Así la ecuación (19) puede reescribirse del modo que sigue:

$$AT_i = \int_j A \cdot M_i^{k1} \cdot M_j^{k2} / d_{ij}^{r1} - \int_j B \cdot M_i^{k1} \cdot M_j^{k2} / d_{ij}^{r2} \quad (10)$$

Cada localización del sistema regional urbano tendrá, por tanto, un *atractivo potencial* ( $ATP_i$ ) en virtud del *atractivo medio*<sup>9</sup> ( $ATM$ ) del conjunto. Potencial que podrá ser positivo o negativo en virtud a la diferencia entre su atractivo y la media del sistema<sup>10</sup>.

<sup>7</sup> Los parámetros en cuestión se igualan a 1 o 0 en función al tipo de modelo deseado: a) si sólo deseamos que cuente la masa atractora de cada lugar “i”,  $k1=1$  y  $k2=0$ ; b) si, en cambio, se desea que cuente tan sólo la masa de cada “j”,  $k1=0$  y  $k2=1$ ; c) finalmente, en el caso más estrictamente gravitatorio,  $k1=1$  y  $k2=1$ . En una aproximación más abierta, si  $k1$  y  $k2$  se determinan libremente, se trata de parámetros que ponderan el grado de intensidad de la atracción experimentada por las masas que integran el sistema.

<sup>8</sup> Dicha afirmación debe matizarse a la luz de las últimas consideraciones realizadas en cosmología a fin de explicar la, al parecer, creciente velocidad de expansión del Universo; hecho que ha llevado a algunos científicos a hipotizar la presunta existencia de una fuerza antigravitatoria. No es necesario, sin embargo, navegar por el mar proceloso de la cosmología para aventurar la existencia de fuerzas centrífugas junto a las de carácter centrípeta. Las ciencias de la naturaleza están plagadas de estas situaciones basadas en dicha tensión “atractora” / “repulsora”. Tal vez el ejemplo más evidente no sea, en este caso, el estrictamente basado en el símil gravitatorio sino eléctrico: la misma ecuación, sólo que con cargas eléctricas opuestas, es la que se utiliza en electrodinámica.

<sup>9</sup> En la ecuación (12) las masas han sido estandarizadas, de ahí que el atractivo medio pueda calcularse con una integral.



$$ATP_i = AT_i - ATM \quad (11)$$

$$ATM = \int_i AT_i \cdot M_i \cdot di \quad (12)$$

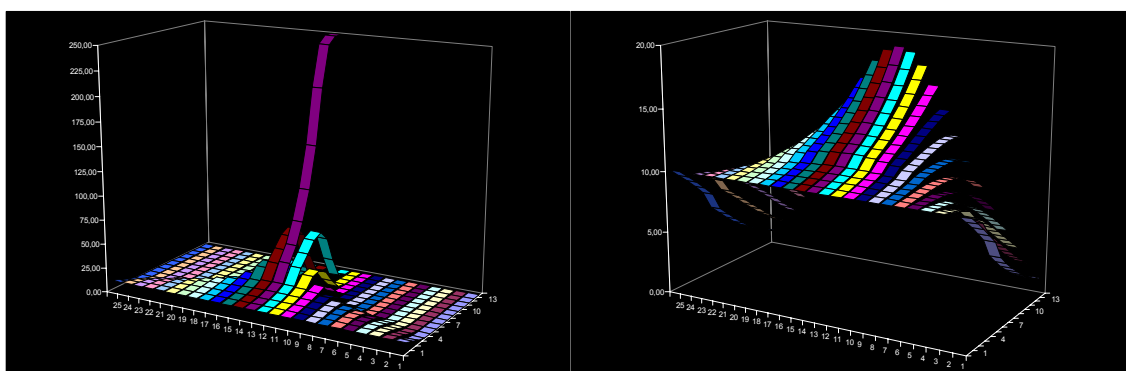
Finalmente el carácter dinámico del sistema regional en el contexto de la modelización que aquí se propone se obtiene del siguiente algoritmo:

$$dM_i / dt = G \cdot (AT_i - ATM) / ATM \cdot M_i \quad (13)$$

Es decir, los trabajadores tenderán a trasladarse gradualmente desde las localizaciones con atractivos potenciales inferiores al medio hacia aquellas con atractivos superiores a dicha frontera. En (13)  $G$  es la *aceleración* del cambio temporal de las masas<sup>11</sup>. Por tanto una  $G$  más alta representará, para un determinado periodo temporal, una velocidad de evolución de la masa, ya sea de incremento, ya de reducción, más elevada<sup>12</sup>.

A fin de visualizar los resultados del modelo propuesto imaginaremos de entrada una ciudad rectilínea unidimensional. Dicho tipo de región es más parecido a la realidad física que no la ciudad circular<sup>13</sup> ideada por Krugman: existen “periferias” mal conectadas, y “centros” intrínsecamente más accesibles.

**Fig. 1 y 2: Modelo de economías de aglomeración ( $G=1$  y  $G=0,2$ )**



La figura nº 1 muestra el resultado de la evolución de una región urbana bajo el signo de *economías de aglomeración*. El modelo se ha construido, para una región de 25 lugares de idéntica superficie y masa inicial, situados a una distancia unitaria de sus respectivos vecinos, con los parámetros  $A = 1$ ,  $B = 0$ ,  $r1 = 1$  y  $G = 1$ . Como puede observarse, si no existiesen otras restricciones, la región evolucionaría hacia una situación estacionaria en la que un único centro (el estructuralmente mejor localizado) agruparía, progresivamente, la totalidad de los lugares de trabajo. Por su parte la figura nº 2 muestra una estructura dinámica idéntica a la anterior pero con una aceleración inferior ( $G = 0,2$ ). Como puede observarse el proceso de aglomeración se ralentiza, identificándose de forma más nítida la generación de una zona conurbanizada en la proximidad del núcleo atractor. Idéntico resultado se obtendría, *ceteris*

<sup>10</sup> El atractivo medio del sistema podrá, a su vez, ser positivo o negativo en función al predominio de las fuerzas de aglomeración o desaglomeración.

<sup>11</sup> Nótese la similitud existente entre la  $G$  de Newton y la que se deduce de (9).  $G$ , en la teoría física de la gravedad, es la aceleración que se imprime a los cuerpos en caída libre fruto de la atracción existente entre las masas de un sistema. En (13)  $G$  representa la aceleración relativa al cambio de masa de un lugar concreto producido por la interacción de un conjunto de masas de carácter regional o urbano.

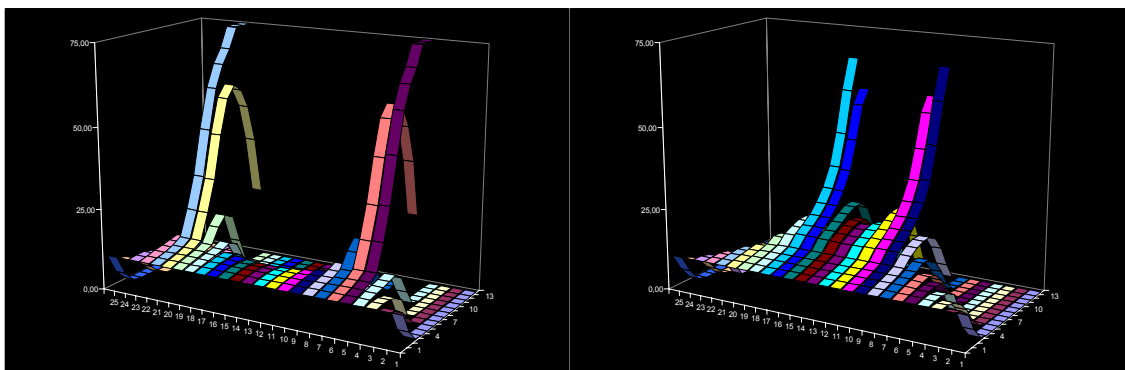
<sup>12</sup> Siguiendo con el símil físico, una velocidad de caída (o de escape) más elevada.

<sup>13</sup> No parece válida, ni siquiera de forma literaria, la afirmación de Krugman (1996) de asimilar Los Ángeles a una metrópolis infinita. Ni por supuesto el símil circular. El territorio de LA está lleno de anisotropías: el mar, el desierto, etc.

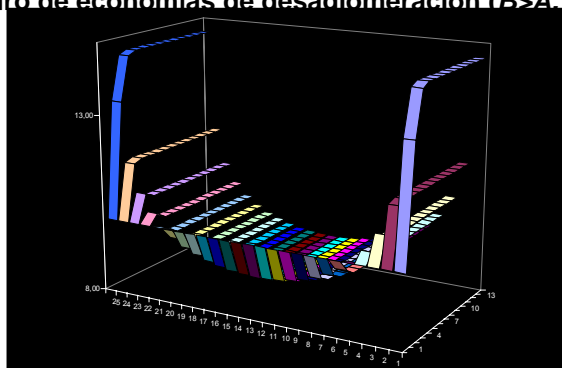
*paribus*, de cualquier modelo en el que las fuerzas centrípetas superasen a las fuerzas centrífugas ( $A > B$ ).

Las figuras 3 y 4 nos muestran distintos resultados en los que las economías de aglomeración dominan a las de desaglomeración, pero en el que las fuerzas atractivas decaen más rápidamente que las de carácter centrífugo. El resultado es la conformación de múltiples centros, más o menos distanciados. El modelo 3 ( $A=1,5$ ,  $B=1$ ,  $r_1=1,5$ ,  $r_2=1,2$  y  $G=1$ ) evidencia la generación de 2 centros situados más excéntricamente que el modelo 4 ( $B=0,9$ ).

**Figura nº 3 y 4: Modelos duales de aglomeración**



**Figura nº 5: Modelo puro de economías de desaglomeración ( $B > A$ ,  $r_1=r_2$ )**

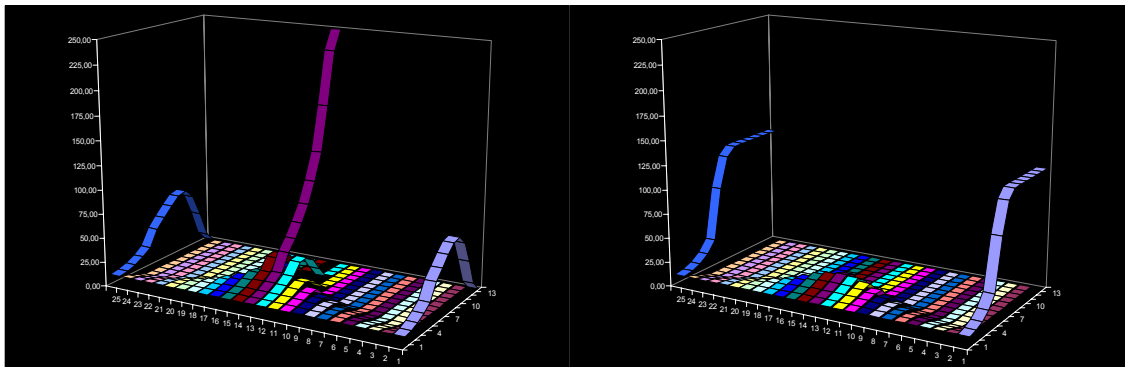


En el supuesto de modelos caracterizados por el predominio de las fuerzas centrífugas, los resultados divergen de forma sensible. La figura 5 muestra el modelo conformado por los parámetros ( $r_1=r_2=1$ ,  $A=0$ ,  $B=1$  y  $G=1$ ). Como puede observarse si bien la tendencia hacia la descentralización es notoria, no llegan a formarse propiamente “centros” en la periferia fruto de un proceso de desaglomeración puro (esto es con  $B > A$  y  $r_1=r_2$ ).

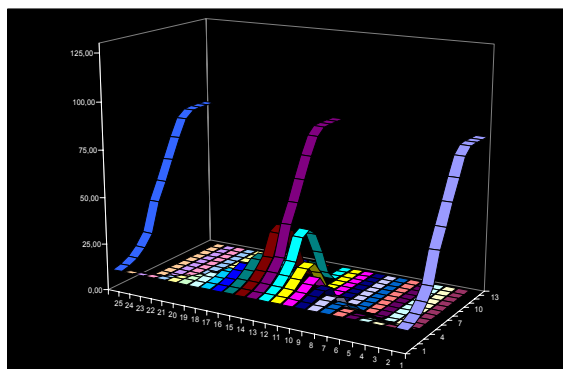
La irrupción de uno o varios centros, en cambio, puede emerger cuando las fuerzas centrípetas hacen acto de presencia, aún manteniéndose por debajo de las de carácter centrífugo, si estas últimas *decrecen con la distancia a una mayor tasa*. El modelo que aparece en la figura nº 6 ( $r_1=1$ ,  $r_2=1,5$ ,  $A=1$ ,  $B=1,289$  y  $G=1$ ) muestra como una economía centralizada puede nacer en un contexto de predominio de fuerzas centrífugas. Si estas fuerzas son suficientemente potentes el resultado es la irrupción de auténticos centros en la periferia, tal como detalla el modelo de la figura 7 ( $B=1,3$ ).



**Figuras 6 y 7: Modelos de aglomeración/desaglomeración a partir del predominio de fuerzas centrífugas**



**Figura nº 8: Modelo de economías de aglomeración y desaglomeración (equilibrio inestable)**



En un contexto de predominio de las fuerzas centrífugas puede producirse, asimismo, la irrupción momentánea, para el tipo de ciudad que estamos considerando, de 3 centros. Sin embargo esa situación es efímera, puesto que de inmediato tiende a predominar el modelo monocéntrico de aglomeración o el policéntrico de desaglomeración. El ejemplo de la figura nº 8 muestra una imagen instantánea de esa situación inestable ( $r1=1$ ,  $r2=1,2$ ,  $A=1,354624338$ ,  $B=1,5$ ,  $G=1$ )

#### **4. Un ejercicio de comprobación empírica: el ejemplo del área metropolitana de Barcelona.**

El modelo de fuerzas centrípetas y centrífugas de carácter gravitatorio permite, por tanto, entender tanto el surgimiento de regiones urbanas centralizadas de carácter monocéntrico o policéntrico, como la emergencia de “edge cities” o de situaciones caracterizadas por el fenómeno contraurbanizador. Cabe ahora ponerlo a prueba en situaciones empíricas reales. El ejercicio se realizará para la Región Metropolitana de

Barcelona (RMB)<sup>14</sup>, ámbito que incluye 164 municipios, más de 3.000 km<sup>2</sup> de superficie así como cerca de cuatro millones y medio de habitantes y un millón y medio de empleos. El estudio se realizará para el periodo 1981-1996<sup>15</sup>, abarcando los tres quinquenios comprendidos entre los censos de población de 1981 y 1991 y los padrones municipales de 1986 y 1996. El análisis intentará evaluar el proceso de relocalización de los lugares de trabajo en el seno de la RMB en el periodo mencionado, así como aplicar el modelo gravitatorio-antigravitatorio ensayado en el epígrafe anterior a fin de anticipar la distribución espacial metropolitana del empleo en un futuro más o menos próximo. El estudio se ha realizado agrupando los 164 municipios en 24 sistemas urbanos de carácter local (Roca, Moix y Pardo, 2001)<sup>16</sup>, a fin de evitar la excesiva fragmentación del mapa municipal (véase plano nº 1).

En el período analizado el centro de la metrópolis, Barcelona-ciudad, ha experimentado una clara reducción relativa del empleo, pasando de concentrar un 53,02% del empleo de la RMB en 1981 a un 44,02% en 1996, lo que representa una caída del 16,96%. Por su parte el resto del sistema urbano de Barcelona<sup>17</sup> ha crecido de un 13,62% a un 14,22% (es decir, un incremento del 4,37%). En dicho periodo el crecimiento relativo del empleo metropolitano se ha concentrado, principalmente, en la primera<sup>18</sup> y segunda<sup>19</sup> coronas del área metropolitana. El crecimiento de la primera corona, con un 30,86% entre 1981 y 1996, se sitúa algo por encima del aumento experimentado por la segunda corona metropolitana, un 25,97%. En cambio las coronas más excéntricas han tendido a tener incrementos más moderados, aunque superiores al centro metropolitano: un 17,81% la tercera corona<sup>20</sup> así como un 18,35% la cuarta<sup>21</sup> corona. Las tablas nº 1 y 2, así como las figuras 9 y 10 resumen los datos empleados así como los cambios de la estructura del empleo de la RMB.

<sup>14</sup> Nos referimos por RMB al ámbito de planeamiento territorial del área metropolitana de Barcelona. El área funcional "real" es aún más extensa, abarcando, en 1996, 217 municipios extendidos en cerca de 4.500 km<sup>2</sup> (Roca 1998)

<sup>15</sup> En el momento en que se redacta este trabajo, verano de 2003, aún no se encuentran disponibles los datos del Censo de 2001 relativos a la localización del empleo.

<sup>16</sup> A fin de facilitar la aplicación del modelo se han excluido los municipios de Aiguafreda y Tagamanent, del conjunto de los 164 integrantes de la RMB, por adscribirse a un sistema urbano de carácter local externos al ámbito administrativo de la Región Metropolitana de Barcelona (el sistema de Centelles, integrante del área metropolitana real pero externo a la RMB. Los sistemas han sido modificados, con respecto a la versión original de Roca, Moix y Pardo (2001) en función del valor de relación de los municipios a efectos de circunscribirlos dentro de la RMB.

<sup>17</sup> El sistema urbano de Barcelona viene formado por 15 municipios, que concentran un total de 887.865 empleos (1996). A efectos prácticos el SU de Barcelona se ha subdividido en el presente estudio en tres subsistemas: Barcelona-ciudad (671.108 LTL en 1996), L'Hospitalet-Llobregat (143.546 LTL 96) y Badalona-Besòs (73.211 LTL 96).

<sup>18</sup> Entendemos por primera corona los sistemas urbanos cuyo centro se encuentra situado a menos de 20 km de Barcelona. Incluye los sistemas de Sant Cugat-Rubí, Sant Vicenç dels Horts, Cerdanyola y Gavà. Se entiende por "centro" del sistema urbano el municipio que concentra más lugares de trabajo y que actúa como atractor del resto de municipios del sistema, con la excepción del caso Sant Cugat-Rubí ya que al tratarse de un sistema bi-polar, sin un centro dominante, se ha escogido a S. Cugat como centro del sistema al ser el municipio que observa una tendencia más acusada a constituirse, a la larga, como núcleo dominante.

<sup>19</sup> La segunda corona viene formada por los sistemas urbanos cuyos centros se sitúan entre 20 y 30 km del centro de la metrópolis, agrupando Mollet, Sabadell, Montornés, Martorell, Terrassa y Mataró.

<sup>20</sup> Entendemos por cuarta corona los sistemas situados entre 30 y 45 km del centro del área metropolitana. Incluye los siguientes sistemas: Granollers (ya que la práctica totalidad de su sistema urbano se encuentra a más de 30 km de Barcelona), Caldes de Monbui, La Garriga, Cardedeu, Arenys y Sant Sadurní d'Anoia.

<sup>21</sup> La cuarta corona incluye los sistemas urbanos situados entre 45 y 60 km del centro: Vilanova i la Geltrú, Vilafranca del Penedés, Castellterçol, Pineda y Sant Celoni.

## Plano nº 1: Sistemas Urbanos de la Región Metropolitana de Barcelona

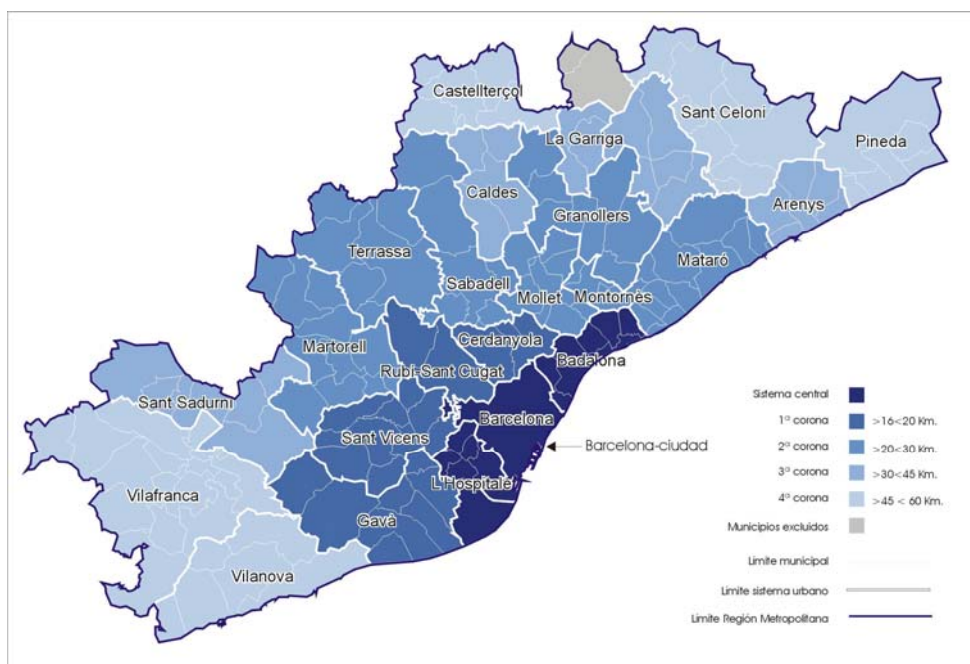


Tabla nº 1: Estructura del empleo en la RMB por sistemas urbanos locales. 1981-1996

	Distancia BCN	81	86	91	96
<b>Barcelona (BCN)</b>	0	53,02%	51,60%	48,73%	44,02%
<b>L'Hospitalet</b>	7,24	9,01%	8,22%	9,04%	9,42%
<b>Badalona</b>	10,68	4,61%	4,69%	4,80%	4,80%
<b>Rubí-S. Cugat</b>	16,54	1,62%	1,82%	2,12%	2,52%
<b>Sant Vicens</b>	16,79	1,90%	1,76%	1,98%	2,23%
<b>Cerdanyola</b>	18,46	1,87%	1,80%	2,31%	2,48%
<b>Gavà</b>	19,55	2,77%	2,79%	3,20%	3,46%
<b>Mollet</b>	20,47	2,46%	2,65%	3,03%	3,49%
<b>Sabadell</b>	22,1	5,03%	5,52%	5,79%	6,22%
<b>Montornès</b>	24,54	0,51%	0,56%	0,62%	0,70%
<b>Martorell</b>	26,85	2,12%	2,20%	2,30%	3,26%
<b>Terrassa</b>	28,01	3,34%	3,61%	3,49%	3,88%
<b>Mataró</b>	29,51	3,31%	3,73%	3,58%	3,60%
<b>Granollers</b>	29,84	1,97%	2,23%	2,44%	2,61%
<b>Caldes</b>	30,49	0,41%	0,44%	0,43%	0,50%
<b>La Garriga</b>	37,36	0,33%	0,35%	0,35%	0,39%
<b>Cardedeu</b>	39,36	0,37%	0,38%	0,42%	0,46%
<b>Arenys</b>	40,00	0,64%	0,66%	0,53%	0,56%
<b>Sant Sadurní</b>	42,79	0,50%	0,47%	0,43%	0,44%
<b>Vilanova</b>	46,24	1,56%	1,60%	1,56%	1,74%
<b>Vilafranca</b>	47,59	1,07%	1,14%	1,18%	1,32%
<b>Castellterçol</b>	48,44	0,02%	0,06%	0,05%	0,05%
<b>Pineda</b>	54,08	1,02%	1,24%	1,11%	1,31%
<b>Sant Celoni</b>	56,44	0,52%	0,50%	0,49%	0,54%

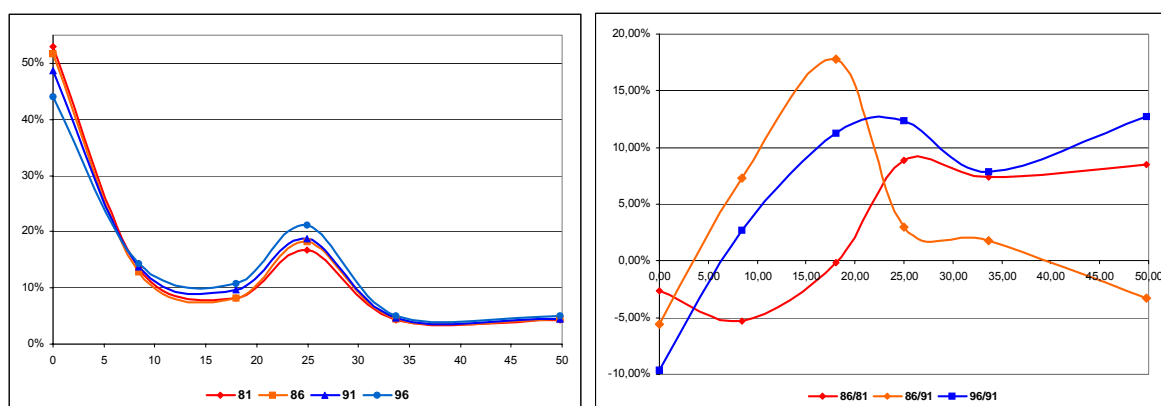
Fuente: Elaboración propia (Censo 1981 y 1991 y Padrón Municipal 1986 y 1996)

**Tabla nº 2: Estructura del empleo de la RMB por coronas. 1981-1996**

	Dist	81	86	91	96	86/81	91/86	96/91	96/81
<b>Barcelona</b>	0,00	53,02%	51,60%	48,73%	44,02%	-2,68%	-5,55%	-9,67%	16,96%
<b>Resto SU-BCN</b>	8,40	13,62%	12,90%	13,84%	14,22%	-5,30%	7,27%	2,73%	4,37%
<b>1ª Corona</b>	18,01	8,17%	8,16%	9,61%	10,69%	-0,13%	17,80%	11,23%	30,86%
<b>2ª Corona</b>	24,99	16,79%	18,27%	18,81%	23,75%	8,84%	2,97%	12,40%	25,97%
<b>3ª Corona</b>	33,69	4,22%	4,53%	4,61%	2,36%	7,40%	1,75%	7,81%	17,81%
<b>4ª Corona</b>	49,80	4,18%	4,54%	4,39%	4,95%	8,52%	-3,27%	12,75%	18,35%

Fuente: Elaboración propia (Censo 1981 y 1991 y Padrón Municipal 1986 y 1996)

**Figuras nº 9 y 10: Estructura y dinámica del empleo por coronas de la RMB. 1981-1996**



El primero de los modelos ensayados (para los parámetros  $k_1=k_2=1$  y  $r_1=r_2=2^{22}$ ) nos permite estimar, a partir de la estructura espacial del empleo metropolitano en 1981, los LTL del año horizonte, 1996, con un elevado grado de eficiencia ( $R^2=0,9979$ )<sup>23</sup>. Dicho modelo (ver tabla nº 3) se construye con una fuerza centrífuga tan sólo algo más poderosa que la fuerza centrípeta observada ( $A=0,9047 < B=0,9054$ ). Por su parte la aceleración del sistema ( $G$ ) se sitúa en 0,08947, referida para un período de 15 años. Una dinámica descentralizadora, de contenido más próximo a la contraurbanización, en el que los extremos más alejados del sistema tienden a tener mayores crecimientos, pero en el que no parecen formarse centros atractores del estilo de los previstos en el modelo de “edge cities”.

Los modelos ensayados para cada uno de los tres periodos quinquenales confirman el predominio de las fuerzas centrífugas sobre las centrípetas. En todo caso se observa un claro incremento de la aceleración del proceso de desaglomeración a lo largo del periodo estudiado.

El parámetro  $G$  pasa de representar 0,04513 en el quinquenio 81-86 a 0,08724 el 86-91 y 0,13829 el 91-96. Eso significa que se está incrementando en el curso de los últimos años un proceso de naturaleza “antigravitatorio”, tendente a contrarrestar las economías de

<sup>22</sup>  $k_1$  y  $k_2$  igual a 1 y  $r_1$  y  $r_2$  igual a 2 puesto que partimos de un modelo gravitatorio clásico: directamente proporcional al producto de las masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia.

<sup>23</sup> El parámetro  $R^2$  que figura en las tablas responde al coeficiente de determinación existente entre la distribución de los LTL real (variable dependiente) y estimada por el modelo. El indicador de “error” de las tablas se refiere a la suma de los valores absolutos de los errores de los modelos ensayados; dicho indicador ofrece ligeramente mejores resultados que la tradicional suma de errores al cuadrado debido a la estructura en tanto por uno de los valores utilizados.

aglomeración de la metrópolis de Barcelona. La “velocidad de escape” no ha hecho más que crecer en los últimos 15 años.

**Tabla nº 3 Modelos de desaglomeración de la RMB**

	Modelo 1				Modelo 2			
	81-86	86-91	91-96	81-96	81-86	86-91	91-96	81-96
<b>A</b>	0,0010000	0,9401958	0,0000000	0,9046516	1,0321353	2,0998979	4,6448456	2,0149939
<b>B</b>	1,0543253	0,9408909	1,7406809	0,9053936	2,0564421	2,0000937	0,1542932	0,9717688
<b>r1</b>	2	2	2	2	1,9017623	0,0184237	3,1808738	1,9709077
<b>r2</b>	2	2	2	2	2,1631087	0,0000503	0,9998945	1,0064491
<b>G</b>	0,0451279	0,0872402	0,1382864	0,0894699	0,0571543	0,0768020	0,1255738	0,0836886
<b>Error</b>	0,0268899	0,0414792	0,0370566	0,0591168	0,0196069	0,0277785	0,0235779	0,0454738
<b>R<sup>2</sup></b>	0,9996844	0,9991094	0,9989558	0,9979039	0,9998756	0,9997268	0,9995157	0,9989961

En el modelo 2<sup>24</sup> se ha relajado la condición  $r1=r2=2$ , buscándose los parámetros A, B, G, r1 y r2 más eficientes para explicar la dinámica temporal de la distribución espacial de los empleos en la RMB. Como puede observarse la estructura de los modelos ha cambiado de forma significativa a lo largo de los últimos 15 años. Especial significación tiene el cambio de signo experimentado por la estructura de las fuerzas de aglomeración y desaglomeración desde el periodo 86-91, al superar las fuerzas centrípetas a las centrífugas ( $A>B$ ). Parece, por tanto, que vayan aumentando progresivamente las fuerzas centrípetas. Sin embargo, dado el carácter exponencial de los modelos ensayados, nada puede afirmarse de modo categórico si no se analiza la relación existente entre los exponentes r1 y r2. Dicho análisis denota un cambio asimismo significativo de dichos coeficientes partir del mismo periodo 86/91, obteniéndose tanto para ese periodo como para el siguiente, 91/96, que  $r1 > r2$ . Cabe concluir, por tanto, que si bien es cierto que las fuerzas centrípetas han ido aumentando en el tiempo ( $A>B$ ), su efecto espacial ha menguado más rápidamente que no el de las fuerzas centrífugas ( $R1>R2$ ). El resultado, por tanto, no es obvio, aunque en todo caso se confirme el sentido descentralizador de la estructura metropolitana del empleo.

Dicha descentralización queda manifiesta del análisis del modelo 2 para la totalidad del periodo 81-96 (ver figura nº 11). Como puede verse el modelo pronostica una caída significativa del centro (Barcelona-ciudad), así como un crecimiento claro

del empleo en la periferia metropolitana. En ese modelo se aprecia una estructura de organización espontánea que sugiere el surgimiento de subcentros. La aplicación de los parámetros del modelo a la ciudad lineal supuesta en el epígrafe 3º (véase figura 12), confirma una estructura tendencial en subcentros, frente al sistema monocéntrico tradicional. Ello no obstante, la geometría metropolitana real, junto a la distribución de la masa de empleos históricamente heredada (en la que el centro concentra una masa de LTL que condiciona en exceso el resultado final) limita el poder explicativo del modelo, tendiendo a acentuar en exceso el fenómeno contraurbanizador en detrimento de la emergencia de nuevos subcentros en las coronas intermedias (primera y segunda coronas metropolitanas). Tal como puede observarse del análisis de la tabla 4, el modelo tiende a sobredimensionar las coronas más periféricas frente a una relativa infravaloración de las situadas en las distancias medias.

<sup>24</sup> El modelo 2 se ha desarrollado manteniendo los exponentes de las masas de origen y destino ( $k1$  y  $k2$ ) constantes e iguales a 1. No se ha querido desarrollar un sistema más complejo, en el que el efecto gravitatorio de las masas viniese modulado de forma exponencial, por motivos de simplicidad y estética del modelo resultante. A su vez, los ensayos realizados haciendo variar los exponentes  $k1$  y  $k2$  no han dado resultados suficientemente más eficientes como para ser tenidos en cuenta. Ello no obstante, más adelante, en el epígrafe nº 5 de este trabajo, se presenta un tercer modelo en el que el exponente  $k1$  se iguala a cero (manteniendo el  $k2 = 1$ ) dado que mejora algo la eficiencia predictiva del sistema gravitatorio/antigravitatorio ensayado en este estudio.

### Figuras nº 11 y 12: Modelo sobre la dinámica de la estructura de empleos en la RMB 1981-1996: ¿descentralización o emergencia de subcentros?

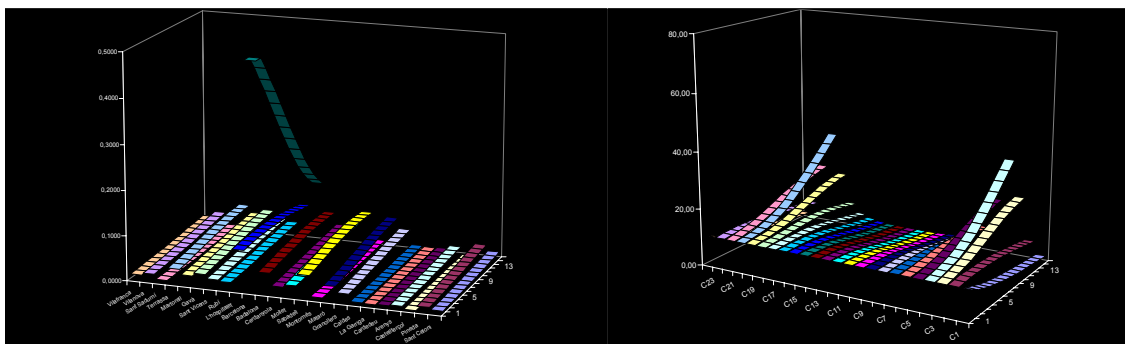


Tabla nº 4: Dinámica comparada de la estructura del empleo de la RMB por coronas

	Dist	81 real	96 real	96/81 real	96 est.	96/81 est.	96 observ.- est.
<b>Barcelona</b>	0,00	53,02%	44,02%	-16,96%	44,02%	-16,96%	- 0,0000
<b>Resto SU- BCN</b>	8,40	13,62%	14,22%	4,37%	14,81%	8,73%	- 0,0060
<b>1ª Corona</b>	18,01	8,17%	10,69%	30,86%	10,08%	23,38%	0,0061
<b>2ª Corona</b>	24,99	16,79%	21,14%	25,97%	20,49%	22,09%	0,0065
<b>3ª Corona</b>	33,69	4,22%	4,97%	17,81%	5,30%	25,73%	- 0,0033
<b>4ª Corona</b>	49,80	4,18%	4,95%	18,35%	5,29%	26,30%	- 0,0033

La primera y, sobre todo, la segunda corona se caracterizan por la coexistencia de subcentros de distinta naturaleza. Por una parte destacan, en la segunda corona, las ciudades que caracterizaron el cinturón industrial de Barcelona y que han representado, desde finales del siglo XIX, ámbitos de localización de la potente industria textil catalana, conformando un conjunto de sistemas urbanos que otorgan al área metropolitana de Barcelona una estructura parcialmente policéntrica<sup>25</sup>. En ese grupo se encuentran Sabadell (situado a 22,1 Km. del centro metropolitano), Terrassa (28,01 Km.), Mataró (29,51 Km.) y Granollers (29,84 Km.), sistemas urbanos que ya concentraban, a principios de los 80, un 13,66% de los lugares de trabajo de la RMB. Dichos sistemas urbanos han experimentado un crecimiento moderado entre 1981 y 1996, del 19,34%, denotando en su interior un proceso de descentralización parecido al evidenciado por Barcelona-ciudad<sup>26</sup>. Por otra parte en la primera corona se insertan sistemas urbanos que ya en las décadas de los 50 y 60 representaron ámbitos de descentralización de la actividad industrial de la ciudad central y que, asimismo, han experimentado crecimientos de carácter moderado. Los sistemas urbanos de Sant Vicenç (16,79 Km.) y Gavà (19,55 Km.) han crecido, entre 1981 y 1996, un 21,78% frente al 30,86% de media de la corona en que se insertan.

<sup>25</sup> Dicha afirmación sobre el "policentrismo" del área metropolitana de Barcelona debe matizarse. Como se ha dicho Barcelona-municipio concentraba, a mediados de los 90, un 44% de la oferta de trabajo de la RMB. Una estructura aún fuertemente centralizada, matizada, sin embargo, por la existencia de subcentros no despreciables, especialmente si la comparamos con otras áreas metropolitanas ibéricas, como Madrid, Valencia, Sevilla o Lisboa, mucho más monocéntricas.

<sup>26</sup> Los municipios de Sabadell y Mataró han perdido "share" desde 1986. Entre 1981 y 1996 todos los municipios a los que nos referimos, Sabadell, Terrassa, Mataró y Granollers han denotado crecimientos inferiores a sus respectivos sistemas urbanos: Sabadell un 7,52% frente a un 23,52% del conjunto de su área de influencia, Mataró un crecimiento negativo del 2,52% frente a un incremento del 8,62% de su sistema urbano, Terrassa un 10,74% frente a un 16,08 y Granollers un 19,39% por un 32,19% de su hinterland. Como puede observarse, sólo el sistema urbano de Granollers, situado realmente en la tercera y no en la segunda corona metropolitana, ha experimentado un incremento significativo en el periodo estudiado.



Frente a esas áreas de crecimiento relativamente lento la primera y segunda coronas han visto surgir nuevos subcentros urbanos de dinámica creciente. Esos sistemas emergentes, Sant Cugat-Rubí (16,54 Km. del centro metropolitano), en la primera corona, y Mollet (20,47 Km.) y Martorell (26,85 Km.), en la segunda, han experimentado crecimientos singulares, representando su “rate” de mercado, al finalizar el periodo estudiado, un 49,41% mayor que la que tenían esos sistemas urbanos en 1981 (de un 6,20% del total de empleo de la RMB en 1981 a un 9,27% en 1996).

A fin de ponderar en lo posible el efecto de los subcentros emergentes se ha introducido un conjunto de “atractores” en el modelo dinámico-gravitatorio ensayado en este trabajo. Dichos indicadores representan la proporción existente entre la fuerza de atracción de cada nuevo subcentro y la general (parámetro A) del sistema metropolitano en su conjunto. El modelo más eficiente para el periodo 1981-1996 (ver tabla nº 5) se construye en el marco de un sistema en el que las fuerzas de atracción superan a las de repulsión ( $A > B$ ) pero en el que las primeras menguan con la distancia a una velocidad superior a las segundas ( $r1 > r2$ ). En ese sistema general el atractor de Martorell alcanza un valor de 26,9 veces más elevado que la fuerza general de atracción de la RMB (A), Rubí-Sant Cugat 17,5 veces más y Mollet 12,4. Modelo que mejora de forma significativa su eficiencia predictiva al reducirse la suma de los valores absolutos de los errores a tan sólo 2,78% (4,55% en el modelo de la tabla 3).

**Tabla 5. Modelo Gravitatorio/Desgravitatorio con Subcentros**

	A	B	R1	R2	G	Martorell	Rubí	Mollet	Error
M. General	2,01	0,97	1,97	1,01	0,0837	1	1	1	0,0455
M. Subcentros	2,15	1,16	1,58	0,99	0,0681	26,94	17,47	12,38	0,0279

## 5. Comparación entre los modelos explicativos de la distribución espacial de los empleos en la RMB

Cabe, finalmente, ensayar una evaluación del modelo de aglomeración/desaglomeración de tipo gravitatorio en relación al resto de modelos estándar desarrollados en el campo de la economía regional-urbana. En particular es de interés analizar si un sistema como el sugerido por Krugman puede servir para interpretar de forma más eficiente la dinámica real de las regiones metropolitanas. En este sentido se ha realizado un análisis de la eficiencia de nuestro modelo en comparación con el de tipo gravitatorio clásico<sup>27</sup>, el modelo probabilista constreñido en origen (Uni Constreñido)<sup>28</sup>, así como del general constreñido en origen y destino (Doble Constreñido)<sup>29</sup>.

La eficiencia de los citados modelos puede observarse en la tabla 6. Del análisis de los resultados obtenidos se confirma la mejora que representa el modelo gravitatorio-antigravitatorio, de naturaleza dinámica, sobre los restantes modelos estándar. A pesar del carácter constreñido del modelo dinámico<sup>30</sup>, la suma de errores absolutos se minimiza de forma

<sup>27</sup> El modelo gravitatorio clásico ensayado adopta la forma  $T_{ij} = A \cdot M_i^{k1} \cdot M_j^{k2} \cdot EXP^{-r1 \cdot dij}$ . En dicho modelo se ajustan de forma iterativa los parámetros A, k1, k2 y r1 de forma tal que el estado resultante al cabo de un tiempo  $t + 1$ , minimice los errores con relación al estado real resultante. El modelo gravitatorio clásico es de naturaleza no constreñida, no garantizando, en ningún caso, que la suma de salidas (debidamente normalizadas) sea igual a 1.

<sup>28</sup> El modelo Uni Constreñido parte de la restricción (4). En este trabajo se ha calculado a partir de la ecuación  $P_{ij} = M_i \cdot M_j^{k2} \cdot exp^{-r1 \cdot dij} / (\sum_i M_i \cdot M_j^{k2} \cdot EXP^{-r1 \cdot dij})$ . Siendo  $P_{ij}$  la probabilidad de emigrar de i a j.

<sup>29</sup> Dicho modelo es el recogido en (1).

<sup>30</sup> El modelo dinámico de naturaleza gravitatoria/desgravitatoria que se presenta en la tabla 6 difiere levemente del recogido en la tabla 4. Las diferencias provienen de que en 6 el modelo se ha construido en un único paso (frente a los

más eficiente que en el gravitatorio clásico<sup>31</sup> (no constreñido), que obtiene el segundo mejor resultado. Por su parte el modelo probabilista uni-constreñido obtiene un resultado inferior a los anteriormente

comentados pero claramente superior al modelo doblemente constreñido<sup>32</sup>, debido al carácter intrínsecamente estático de este último.

**Tabla 6. Comparación entre los modelos de naturaleza gravitatoria (1981-1996)**

	Gravitatorio	Uni Constreñido	Doble Constreñido	Dinámico
<b>Error Absoluto</b>	0,04399063	0,0485626	0,0557721	0,0428755
<b>R<sup>2</sup></b>	0,99897881	0,9989660	0,9988681	0,9989013

**Tabla 7. Resultados comparados por coronas metropolitanas: dinámica del empleo 1981-1996**

	Real	Gravitatorio	Uni Restringido	Doble Restringido	Dinámico
<b>Barcelona</b>	-16,96%	+ 0,0000	+ 0,0000	- 0,0000	- 0,0000
<b>Resto SU-BCN</b>	4,37%	+ 0,0004	- 0,0074	+ 0,0117	- 0,0089
<b>1ª Corona</b>	30,86%	+ 0,0002	+ 0,0024	+ 0,0141	+ 0,0041
<b>2ª Corona</b>	25,97%	+ 0,0190	+ 0,0144	+ 0,0113	+ 0,0045
<b>3ª Corona</b>	17,81%	- 0,0095	- 0,0079	- 0,0105	- 0,0015
<b>4ª Corona</b>	18,35%	- 0,0025	- 0,0015	- 0,0266	+ 0,0018

Por su parte la tabla 7 así como la figura 13 muestran como el modelo de aglomeración/desaglomeración no sólo obtiene un resultado global más eficiente sino que, a su vez, permite predecir de forma más ajustada la dinámica concreta de la distribución espacial de los empleos por coronas metropolitanas. El modelo ensayado es el que mejor se adapta al “perfil” real de la evolución del empleo. Los resultados más pobres del modelo dinámico se obtienen en las “pequeñas distancias”: tanto en el resto del continuo urbano como en la primera corona se ve superado por los modelos gravitatorio no constreñido y constreñido en origen. Sin embargo el modelo gravitatorio/desgravitatorio obtiene resultados claramente más eficientes en las coronas intermedias y alejadas; especialmente en la segunda corona, donde la emergencia de subcentros es más acentuada.

El resto de modelos gravitatorios<sup>33</sup> tiende a predecir una caída excesiva de la segunda corona, así como un incremento macrodimensionado de la tercera corona metropolitana,

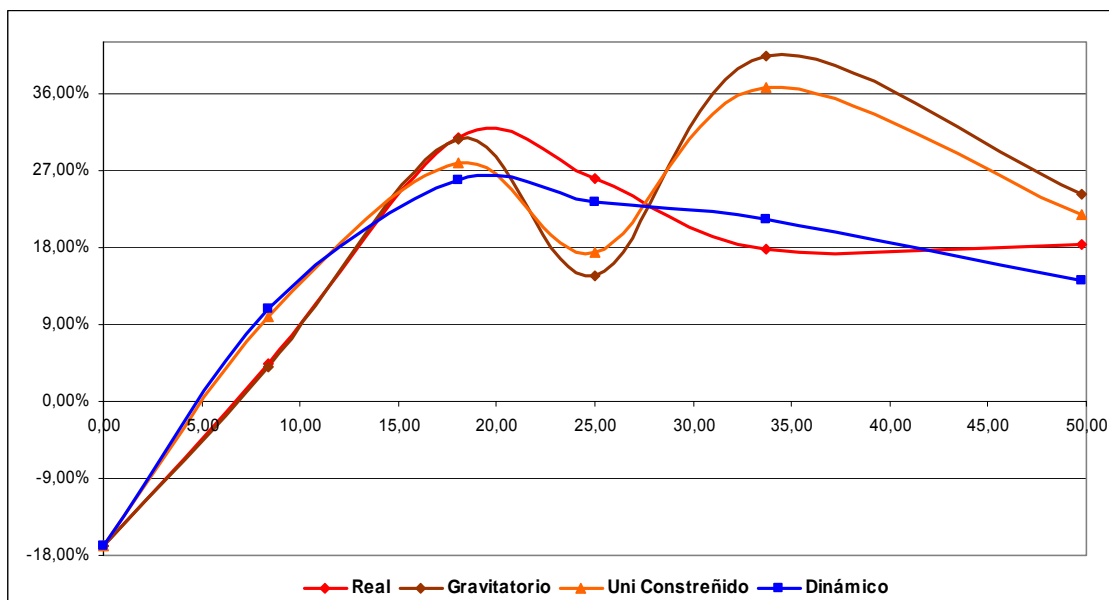
3 pasos, uno para cada quinquenio dados en el de la tabla 4) con tal de hacerlo más comparable al resto de modelos. A su vez se ha elaborado tan sólo con la masa de destino, habiéndose igualado el exponente  $k1$  a cero.

<sup>31</sup> El mejor modelo gravitatorio no constreñido se construye, al igual que el dinámico gravitatorio/desgravitatorio, con un exponente igual a cero de la masa de origen. Así, por tanto, en el flujo de empleos entre localidades tan sólo interviene la masa de destino, reforzada por un exponente  $< 1$ . Por su parte el efecto de la distancia viene atenuado con un coeficiente  $r1 < 1$ . El carácter globalmente desaglomerador de la distribución espacial del empleo en la RMB en el periodo 81-96 viene confirmado, en el modelo gravitatorio clásico, por el signo negativo del coeficiente  $r1$ , cuando las masas de origen y de destino no vienen ponderadas, esto es cuando los exponentes  $k1$  y  $k2$  son iguales a 1.

<sup>32</sup> La utilización de un modelo doblemente costreñido de interacción gravitatoria, como el expuesto en (1), confirma el sentido “antigravitatorio” de la evolución temporal de la distribución espacial del empleo en la RMB al obtenerse un coeficiente  $\beta$  de signo negativo: la interacción resulta directamente proporcional a las masas y a la distancia, en contra de la hipótesis gravitatoria clásica. De hecho  $\beta$  ha ido creciendo (negativamente) a lo largo del tiempo, habiendo pasado de -0,0834 en el periodo 81-86 a -0,1366 en 86-91 y -0,1398 en 91-96. En todo caso, no obstante, la naturaleza del modelo doblemente costreñido, que no incluye explícitamente fuerzas antigravitatorias, no le permite alcanzar los resultados del modelo a la Krugman ensayado en este trabajo.

ofreciendo un “perfil” de doble joroba muy alejado al perfil de una sola joroba realmente observado. Sólo el modelo a la Krugman permite predecir ese “perfil” característico de la evolución experimentada por el empleo metropolitano de Barcelona en el periodo 81-96.

**Figura 13. Variación del empleo por coronas metropolitanas. 1981-1996**



## 6. Conclusiones.

En el curso de las dos últimas décadas el desarrollo de modelos gravitatorios de interacción espacial se ha ido ralentizando. Los fenómenos urbanos contemporáneos, especialmente la descentralización de la actividad económica, el surgimiento y consolidación de las “edge cities” y la contraurbanización, han permanecido en buena medida inexplicados por la teoría y la modelística locativa, aún excesivamente ancladas en el paradigma de las economías de aglomeración. Y los modelos gravitatorios, desarrollados en la línea de ese paradigma, han sufrido las consecuencias; al excepcional interés que despertaron en los años 60 y 70 le ha sucedido un cierto sabor a decepción: el desarrollo teórico-empírico se ha mostrado, por lo general, incapaz de anticipar y entender la magnitud de las transformaciones urbanas en toda su complejidad. La modelística de inspiración gravitatoria, que había obtenido éxitos sin precedentes en la explicación de interacciones de tipo estático del estilo de la movilidad obligada por motivos de trabajo, ha encontrado enormes dificultades para entender los procesos dinámicos que caracterizan el desarrollo contemporáneo de nuestras ciudades. En este terreno se han limitado a “dar fe” de la tendencia descentralizadora por medio de la constatación empírica del progresivo debilitamiento de las fuerzas de aglomeración provocada por la creciente disolución de la fricción del espacio. Parece como si todos los cambios en curso se limitasen a una mejora de la accesibilidad. Sin embargo la realidad es obstinada. No sólo se ha producido, se está produciendo, una mejora de la accesibilidad. Hay algo más. Y ese “algo” no se limita al debilitamiento de las fuerzas de aglomeración, de la atracción

<sup>33</sup> Es de destacar, en relación al resto de modelos gravitatorios estándar, los extraordinarios resultados del modelo no constreñido en las distancias cortas. El modelo gravitatorio clásico se ajusta con una gran precisión a la evolución real de los empleos en el resto del continuo urbano así como en la primera corona al obtener una desviación en ambos casos insignificante en relación a la dinámica realmente observada.

gravitatoria. Existen verdaderas economías de desaglomeración, aunque éstas no hayan sido, aún, completamente teorizadas.

La sugerencia de Krugman ha sido incluir de forma explícita en el modelo de interacción espacial a esas fuerzas de desaglomeración. *La estructura regional-urbana sería, entonces, el equilibrio inestable de la tensión existente entre unas fuerzas de naturaleza centrípeta*, de atracción gravitatoria, resultantes de las economías de aglomeración, *y otras fuerzas de de tipo centrífugo*, “desgravitatorias”, vinculadas a unas hipotéticas economías de desaglomeración. A su vez el modelo de Krugman ha introducido de forma explícita un algoritmo dinámico, “auto-organizativo” en su concepción original, lo que ha ayudado a comprender mejor la naturaleza por lo general estática en que se basaban los modelos gravitatorios clásicos.

El objetivo de este trabajo ha consistido, principalmente, en evaluar los distintos modelos gravitatorios, incluido un modelo “a la Krugman” de aglomeración/desaglomeración, en la explicación de la evolución de la estructura espacial del empleo en la Región Metropolitana de Barcelona. La comparación entre modelos evidencia el mejor comportamiento del modelo dinámico, de naturaleza gravitatoria/desgravitatoria. La introducción explícita de fuerzas centrífugas ayuda, por tanto, a entender mejor la presente evolución de nuestros sistemas urbanos y metropolitanos.

El reconocimiento de la tensión existente entre las fuerzas de aglomeración y desaglomeración parece ser, por tanto, suficientemente atractivo para profundizar en la línea introducida por Krugman. No obstante, los modelos de este tipo ensayados en el presente trabajo muestran la dificultad, incluso desde dicha aproximación, para explicar de forma completa la dinámica real de una formación urbana concreta, como la Región Metropolitana de Barcelona, caracterizada no sólo por la descentralización de las empresas y los lugares de trabajo sino también por la emergencia de nuevos subcentros. Este último fenómeno, que se concentra en la RMB en las distancias intermedias (“ciudades de en medio”) que no en la periferia (“edge cities”), viene explicado tan sólo de forma parcial por la aproximación gravitatoria/desgravitatoria. Tal vez se deba, dicha limitación, a la insuficiencia de la información utilizada<sup>34</sup>. Sin embargo una sombra de duda permanece. La explicación de la emergencia de subcentros en las distancias medias continúa siendo una cuestión no plenamente resuelta, un tema pendiente.

---

<sup>34</sup> Por ejemplo, tal vez si su hubiese contado como atractor de la actividad económica con la superficie de suelo disponible susceptible de ser utilizada (y no con la masa de empleos realmente empleada) se hubiese obtenido un resultado más eficiente. Sin embargo no se ha podido contrastar dicha hipótesis ante la falta de datos.

## BIBLIOGRAFIA CITADA

- Berry, B.J. L. (1976): "The Counterurbanization Process: Urban American since 1970" Berry, B.J.L (ed.) (1976) *Urbanization and Counterurbanization*, Sage, Beverly Hills.
- Bertuglia, C. S.; Leonardi, G.; Ocelli, I S.; Rabino, G. A.; Tadei, R. And Wilson, A. G. (eds.) (1987) *Urban systems: contemporary approaches to modelling*, Croom Helm, London.
- Carrothers, G.A.P (1956) An historical review of the gravity and potential concepts of human interaction, *Journal of the American Institute of Planners*, 22: 94-102
- Chicago Area Transportation Study (1969) *Final report*, Chicago.
- Clarke, G.; Langley, R.; Cardwell, W. (1998) Empirical applications of dynamic spatial interaction models, *Computer, Environment and Urban Studies*, 22,2:157-184
- Clarke, M.; Wison, A.G. (1983) The dynamics of urban spatial structure: progress and problems, *Journal or Regional Science*, 23,1:118
- Dematteis, G. (1991): "Sistema locali nucleari e sistema a rete. Un contributo geografico all'interpretazioni delle dinamiche urbana", en Bertuglia, C. & La Bella, A. (ed) (1991): *I sistema urbani*. Milano, Franco Angeli.
- Daniels, P.W (1985) *Service industries a geographical appraisal*, Methuen, New York
- Duandy, Andres; Plater-Zyberk, Elizabeth; Speck, J (2000) *Suburban Nation: The Rise of Sprawl and the Decline of the American Dream*, Nueva York
- Fik, T.J; Mulligan, G.F. (1998) Functional form and spatial interaction models, *Environment and Planning A* 30:1497-1507
- Fotheringham. A.S. (1981) *Operational urban models: An Introduction*, Methuen, New York.
- Hall, Peter; Hay Dennis (1980) *Growth centres in the european urban systems*, Heinemann educational books, Londres
- Hallam, B.R.; Warren, S.E.; Renfrew, C. (1976) Obsidian in the western Mediterranean: characteristics by neutron activation analysis and optical emission spectroscopy. *Proceedings of the Prehistoric Society*, 42: 85-110
- Hammer, C.; Ikle, F.C. (1957) Intercity telephone and airline traffic related to distance and the propensity to interact, *Sociometry*, 10: 306-316
- Harris, B.; Wilson, A.G. (1978) Equilibrium values and dynamics of attractiveness terms in production-constrained spatial-interaction models. *Environment and Planning A*, 10: 371-388
- Haynes, K.; Fotheringham, S. (1984) *Gravity and spatial interactions models*, Sage, London
- Helly, Walter (1975) *Urban systems models*, Academic Press, New York.
- Huff, D.L. (1959) Geographical aspects of consumer behaviour. *University of Washington Business Review*, 18: 27-37
- Huff, D.L. (1963) A probabilistic analysis of shopping centre trade areas. *Land Economics*, 39:81-90
- Indovina, F. et alt. (1990): *La città diffusa*. Venezia, Daest.
- Jochin, M.A. (1976) *Hunter-gatherers subsistence and settlement: a predictive model*. Academic Press, New York.
- Krugman, P.R. (1996): *The Self-Organizing Economy*, Blackwell, Cambridge MA.
- Lakshmanan, T.R. and W.G. Hansen, A Retail Market Potential Model, *Journal of the American Institute of Planners*, 1965, 31: 134-43.
- Lee, Colin (1973) *Models in planning*, Pergamon, Oxford.
- Lombardo, S.T.; Rabino, G.A. (1984) Nonlinear dynamic models for spatial interaction: the results of some empirical experiments, *Papers of the Regional Science Association*, 55:83-101
- Lowry, I. S. (1964) *A model of metropolis*, RM-4035 -RC, Rand Corporation, Santa Monica.
- Lowry, I.S. (1964) *A model of metropolis*, Rand Corporation, Santa Monica
- Lowry, I.S. (1967) *Seven models of urban development: a structural comparison*. Conference on Urban Development models, Sarmouth College, Hanover, NH Highway Research Board, National Research Council
- Macgill, S. M. (1977) Rectangular input-output tables - multiplier analysis and entropy-maximising principles: a new methodology, *Regional Science and Urban Economics*, 8, 355-70.

- Pooler, J. (1994) A extended family of spatial interaction models, *Progress in Human Geography*, 18,1:17-39
- Pooler, J. (1994) A family of relaxed spatial interaction models, *Professional Geographer*, 46,2:211-217
- Reilly, W.J. (1929) *Methods for the study of retail relationships*, Bulletin No. 2944, University of Texas
- Reilly, W.J. (1931) *The law of retail gravitation*, G.P. Putnam, New York
- Roca, J. (1988) El cambi de escala de la ciutat metropolitana de Barcelona, *Revista Económica de Catalunya*, 33: 44-53
- Roca, J.; Díaz, E.; Clusa, J. (1997) *La Delimitació de L'Àrea Metropolitana de Barcelona*, CPSV, Barcelona
- Roca, J; Moix, M.; Pardo, P.(2001) *Metodologia per a la delimitació d'àmbits supramunicipals per a la prestació de serveis locals*, CPSV, Barcelona
- Sayer, R. A. (1976). A critique of urban modelling, *Progress in Planning*, 6: 187-254.
- Stouffer (1940) Intervening opportunities: a theory relating mobility and distance, *American Sociological Review*, 5:845-867
- Tobler, W.; Wineberg, S. (1971) A cappadocean speculation. *Nature*, 321 (5297): 39-42
- Wilson, A.G. (1967) A statistical theory of spatial distribution models, *Transport Research*, 1: 253-69
- Wilson, A. G. (1974) *Urban and regional models in geography and planning*, John Wiley, Chichester
- Wilson, A.G. (1970) *Entropy in urban and regional modelling*, Pion, London
- Wilson, A.G. (1974) *Urban and regional models in planning*, John Wiley & Sons, London
- Wilson, A. G. (2000) *Complex spatial systems*, Prentice Hall, London
- Wilson, A. G. (2003) A generalised representation for a comprehensive urban and regional model, forthcoming.
- Wilson, A. G., Coelho, J. D., Macgill, S. M. and Williams, H. C. W. L. (1981) *Optimisation in locational and transport analysis*, John Wiley,
- Zipf, G.K. (1949) *Human behaviour and the principle of least effort*, Addison-Wesley, Reading, MA.